6Ш

УДК 004.89:004.93

А.Н. Шушура, Т.Э. Даньшина
Институт информатики и искусственного интеллекта
ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, Украина
Украина, 83048, г. Донецк, пр. Б. Хмельницкого, 84

Нечеткое управление впрысками в пароводяной тракт прямоточного котла ТЭС

A.N. Shushura, T.E. Danshina
Institute of Informatics and Artificial Intelligence
Donetsk National Technical University, c. Donetsk
Ukraine, 83048 Donetsk, 84, B. Khmelnitsky

Fuzzy Control of Injections into the Steam Boiler of Once-Through Path Thermal Power Plant

О.М. Шушура, Т.Є. Даньшина
Інститут інформатики і штучного інтелекту
ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», м. Донецьк, Україна
Україна, 83048, м. Донецьк, пр. Б. Хмельницького, 84

Нечітке управління впорскування в пароводяний тракт прямоточного котла ТЕС

В работе рассматривается задача сокращения расхода воды при управлении впрысками в пароводяном тракте сверхкритического давления прямоточного котла ТЭС. С этой целью проведен анализ устройства пароводяного тракта котла, выполнен синтез нечеткого регулятора на основе нейро-сетевого моделирования и проведено численное исследование работы системы в среде MATLAB. Применение результатов работы позволяет за счет использования нечеткого управления повысить плавность регулирования температуры и снизить расход воды.
Ключевые слова: нечеткий регулятор, прямоточный котел, гибридные нейросети.

The problem of reducing water consumption at control of injections into the steam circuit supercritical once-through boiler of thermal power plants is considered in the work. For this purpose, the analysis of the boiler-steam circuit is made, the synthesis of a fuzzy controller based on neural network modeling is given and numerical study of the system in MATLAB is conducted. The use of the work allows improving the smoothness of temperature control and reducing water consumption through the use of fuzzy control.
Key Words: fuzzy control, straight-through boiler, hybrid neural networks.

У роботі розглядається задача скорочення витрат води при управлінні впорскуваннями в пароводяному тракті надкритичного тиску прямоточного котла ТЕС. З цією метою проведено аналіз пристрою пароводяного тракту котла, виконаний синтез нечіткого регулятора на основі нейромережного моделювання та проведено чисельне дослідження роботи системи в середовищі MATLAB. Застосування результатів роботи дозволяє за рахунок використання нечіткого управління підвищити плавність регулювання температури і знизити витрату води.
Ключові слова: нечіткий регулятор, прямоточний котел, гібридні нейромережі.

Введение

Основная доля производства электроэнергии в Украине приходится на тепловые электростанции (ТЭС), на которых достаточно широкое распространение получили прямоточные котлы.

В числе задач управления прямоточным котлом важное место занимает управление впрысками в пароводяной тракт, целью которого является поддержание оптимальных значений температуры пара.

Среди ученых, которые сделали весомый вклад в развитие методов управления функционированием прямоточных котлов, можно выделить: М.В. Мейкляр, А.А. Свечникова, С.С. Рокотяна, Л.П. Фотина и др.

Однако использование существующих технологий управления впрысками характеризуется большим расходом воды, что говорит об актуальности исследований в данной области.

Целью данной работы является сокращение расхода воды в пароводяном тракте сверхкритического давления прямоточного котла путем разработки алгоритма нечеткого регулирования с применением нейро-сетевого моделирования.

Для достижения поставленной цели в работе решаются **задачи:**
- анализ структуры пароводяного тракта котла;
- синтез нечеткого регулятора;
- численное исследование работы системы.

Анализ устройства пароводяного тракта котла

В работе рассматривается прямоточный котел ПП-1000-255Е (заводская модель ТПП-312А).

Котел П-образной компоновки, состоит из топочной камеры и конвективной шахты, соединенных в верхней части горизонтальным газоходом.

На рис. 1 показана структурная схема пароводяного тракта котла ТПП-312А.

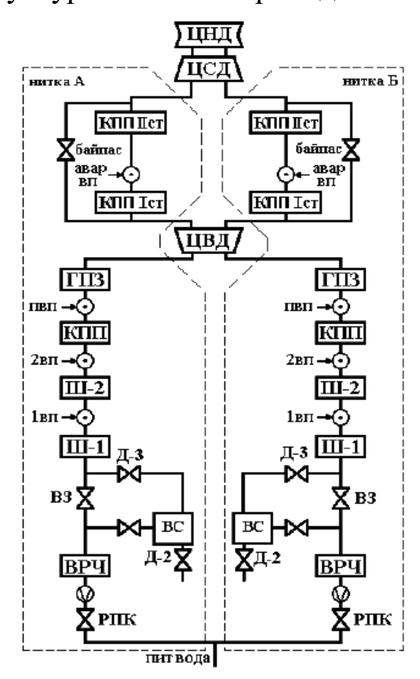


Рисунок 1 – Структурная схема пароводяного тракта котла:
РПК – регулирующий питательный канал; ВРЧ – верхняя радиационная часть;
ВЗ – встроенная задвижка; ВС – встроенный сепаратор; Д-2 и Д-3 клапаны;
ГПЗ – главная паровая задвижка; ЦВД – цилиндры высокого давления;
Ш-1, Ш-2 – ширмовые пароперегреватели 1 и 2; КПП 1ст,
КПП 2ст – конвективный пароперегреватель 1 и 2; 1 вп, 2 вп – первый и второй впрыски;
пвп – пусковой впрыск; авар вп – аварийный впрыск [1]

Пароводяной тракт сверхкритического давления выполнен двухпоточным, с самостоятельным регулированием питания и температуры по каждому потоку (нитке).

Каждый поток (нитка) расположен симметрично относительно оси котла.

Система впрысков подразумевает использование нескольких впрыскивающих пароохладителей, которые применяются на разных этапах работы энергоблока: пусковые, нормативные, аварийные пароохладители.

Как видно из рис. 1, первый впрыск (1 вп) расположен после первого ширмового пароперегревателя (Ш-1), второй впрыск (2 вп) – после второго (Ш-2), пусковой впрыск (пвп) расположен после конвективного пароперегревателя, аварийный впрыск (авар. вп) установлен после конвективного пароперегревателя низкого давления первой степени (КПП-1 ст).

В работе будут использоваться первый и второй впрыски на промежутке пароводяного тракта сверхкритического давления, так как они оказывают наибольшее влияние на температуру пара.

Для удобства вычислений первый и второй впрыски будут рассматриваться как один впрыск, поскольку по технологии работы на первый впрыск приходится 60% воды от общего впрыска, а на второй – 40%.

Так как физические процессы, происходящие в пароводяном тракте, достаточно сложны для формализации традиционными средствами теории управления, для разработки алгоритмов рационально использовать методы нечеткого управления.

Синтез нечеткого регулятора

На основе анализа структуры пароводяного тракта была разработана общая структура системы управления, которая схематически представлена на рис. 2, где в качестве переменных выступают T_2^* – заданная температура пара после впрысков; U – расход воды на впрыски; G_p – расход пара, P – давление пара, T_1 – температура до впрыска, T_2 – температура после впрыска.

Для реализации нечеткого регулятора был выбран аппарат нечеткого нейросетевого моделирования. Нечеткие нейронные сети или гибридные сети объединяют в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода, позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной интерпретации.

В пакете Fuzzy Logic Toolbox системы MATLAB гибридные сети реализованы в форме адаптивных систем нейро-нечеткого вывода ANFIS.

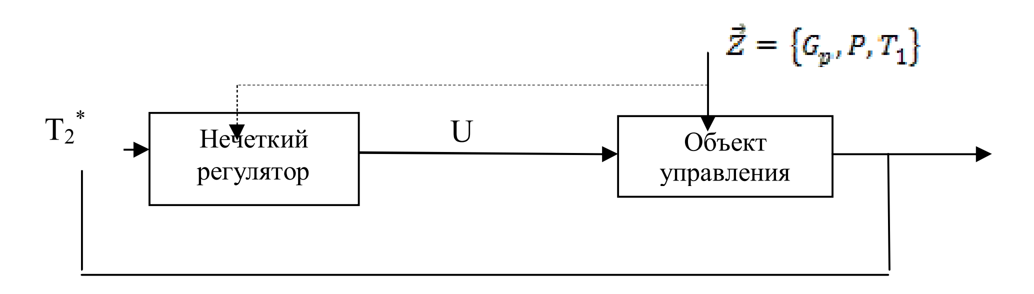


Рисунок 2 – Структура системы нечеткого управления

ANFIS-редактор позволяет автоматически синтезировать из экспериментальных данных нейро-нечеткие сети, которые можно рассматривать как одну из разновидностей систем нечеткого логического вывода типа Сугэно [2].

Для построения регулятора на основании мониторинга работы котла подготовлены обучающие данные, которые содержат около 2500 строк значений переменных: G_p – расход пара, P – давление пара, T_1 – температура до пароперегревателя, за которым расположен первый впрыск, T_2 – температура после впрыска, U^* – впрыск (экспериментальный).

Указанная информация была загружена в редактор ANFIS.

В качестве настроек редактора ANFIS выбраны: метод обучения гибридной сети задан гибридный (hybrid), т.е. метод убывания обратного градиента, установлен уровень ошибки обучения (Error Tolerance) – по умолчанию значение 0, а также количество циклов обучения (Epochs) – 50. В качестве настроек кластерного анализа указана субтрактивная (горная) кластеризация.

После обработки данных получена гибридная нейросеть, структура которой представлена на рис. 3.

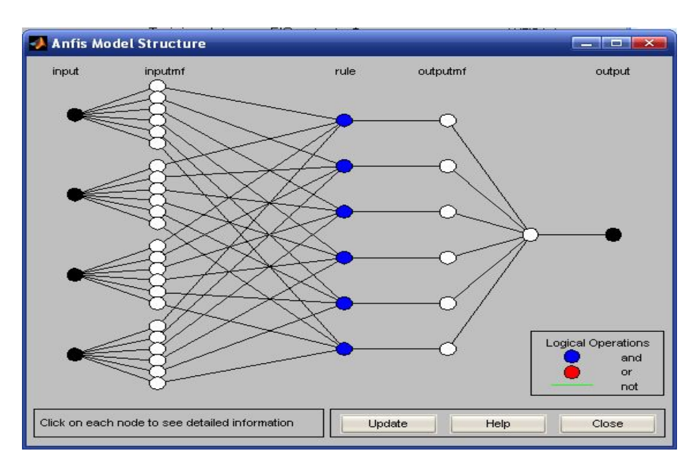


Рисунок 3 – Структура сгенерированной сети

Как видно из рис. 3, для каждой лингвистической переменной с помощью методов кластеризации были сформулированы 6 термов, также определены 6 правил нечеткого вывода типа Сугэно [3].

Средняя ошибка при обучении составила 3,8654 т/ч.

Численное исследование работы системы

Для анализа эффективности нечеткого управления была взята выборка и проведен анализ работы алгоритма, в котором сравнивались значения расхода воды, полученные экспериментальным путем и рассчитанные по модели.

В качестве оценки результатов работы системы рассчитан коэффициент вариации, который представляет собой относительную меру рассеивания значений, выраженную в процентах. Для совокупностей экспериментального и модельного впрысков коэффициенты вариации равны соответственно 30,26% и 22,92%, что показывает однородность модельной совокупности выше, чем у экспериментальной.

На рис. 4 представлен график, на котором сравниваются значения экспериментальных и модельных впрысков.

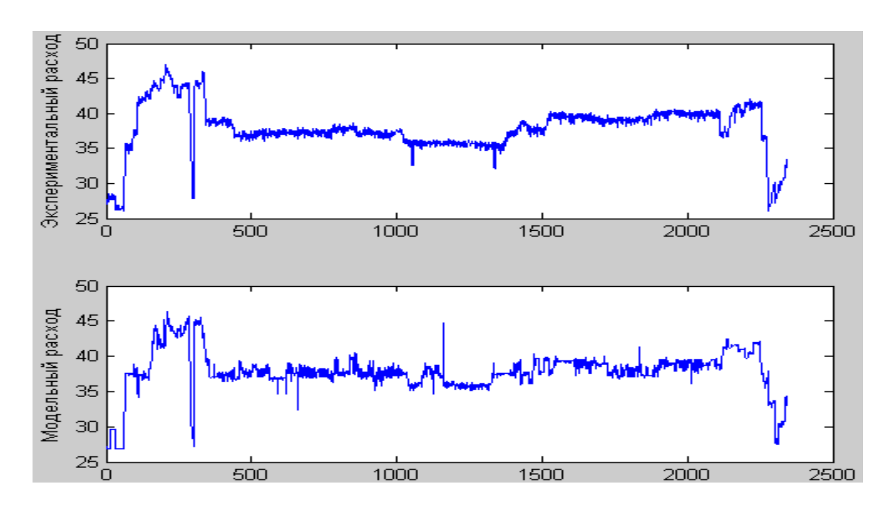


Рисунок 4 – График сравнения

Как видно из графика, модельные значения впрысков меньше, чем экспериментальные значения впрысков, что позволяет сократить расход воды. Суммарный расход воды за интервал наблюдения семь часов при регулировании раннее использованным способом составил 246,46 т, а модельный расчет для разработанного метода регулирования определил расход воды на впрыски 237,3 т.

Выводы

В результате работы была разработана нейро-нечеткая модель управления, которая обеспечивает плавность впрысков в пароводяном тракте прямоточного котла сверхкритического давления, что дает снижение использования подпиточной воды. Система может использоваться на тепловых электростанциях, оборудованных прямоточными котлами, а также с котлами, имеющими аналогичную структуру пароперегревателя.

Литература

1. Ткаченко А.В. Система автоматического управления пусковыми режимами котлоагрегатов СКД энергоблоков ТЭС : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 / Ткаченко Александр Валерьевич ; ГВУЗ «Донец. нац. техн. ун-т». – Донецк, 2009. – 210 л. : рис., табл. (*Шифр :* ДС113716).
2. Бодянский Е.В. Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем / Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. – Днепропетровск : Системные технологии, 2005. – 311 с.
3. Чернов В.Г. Модели поддержки принятия решений в инвестиционной деятельности на основе аппарата нечетких множеств / Чернов В.Г. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 312 с.
4. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.– СПб. : БХВ-Петербург, 2003.

Literatura

1. Tkachenko A. V. Sistema avtomaticheskogo upravlenija puskovymi rezhimami kotloagregatov SKD jenergoblokov TJeS : dis. ... kand. tehn. nauk : 05.13.07. GVUZ “Donec. nac. tehn. un-t”. Doneck. 2009. 210 s.
2. Bodjanskij E.V. Nejro-fazzi seti Petri v zadachah modelirovanija slozhnyh sistem. Dnepropetrovsk: Sistemnye tehnologii. 2005. 311 s.
3. Chernov V.G. Modeli podderzhki prinjatija reshenij v investicionnoj dejatel’nosti na osnove apparata nechetkih mnozhestv. M.: Gorjachaja linija – Telekom. 2007. 312 s.
4. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. SPb.: BHV-Peterburg. 2003.

RESUME

A.N. Shushura, T.E. Danshina

Fuzzy Control of Injections into the Steam Boiler of Once-Through Path Thermal Power Plant

One of the most important tasks of control is the problem of high flow boiler injections in the steam path, whose aim is to maintain optimal temperatures of steam.

The problem of reducing water consumption at control of injections into the steam circuit supercritical once-through boiler of thermal power plants is considered in the work. For this purpose, the analysis of the boiler-steam circuit is made, the synthesis of a fuzzy controller based on neural network modeling is given and numerical study of the system in MATLAB is conducted.

Supercritical steam circuit is made with double-flow self-regulating power supply and temperature for each thread (thread). Each thread (thread) is located symmetrically with respect to the axis of the boiler.

The system involves the use of multiple injection attemperators, which are used at different stages of the unit: start-up, regulatory, emergency desuperheater. The first and second injection intervals in the steam circuit of the supercritical pressure are used, as they have the greatest influence on the temperature of steam.

To implement the fuzzy controller, the device of fuzzy neural network modeling has been chosen. To analyze the effectiveness of fuzzy control, the sample has been taken and the analysis of the algorithm, which compared the values of flow rate obtained experimentally and calculated by the model, has been made.

As a result of the work, neuro-fuzzy control model is developed. This model ensures smooth injections in the steam circuit supercritical once-through boiler that allows reducing the use of make-up water.

Статья поступила в редакцию 05.06.2012.